

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Náhrada pohonů mlýnů K6 a K7 na Teplárně ČSA
Design of Drive for Mill K6 and K7 in the Heat Station ČSA

Zadání bakalářské práce

Student:

Josef Čmíel

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Náhrada pohonů mlýnů K6 a K7 na Teplárně ČSA
Design of Drive for Mill K6 a K7 in the Heat Station ČSA

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza současného technického stavu pohonu mlýnů
3. Analýza možností využití elektrických strojů pro dané pohony
4. Návrh základních parametrů modernizovaného pohonu
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Gonzales J., and col.: Monitoring and Diagnosis of Turbine-Driven Generators, EPRI, ISBN 0-13-606096-X, USA, Ne Jersey 1995
2. Chmelík, K.: Asynchronní a synchronní elektrické stroje, ISBN 80-7078-857-7, VŠB-TUO, Ostrava 2001

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



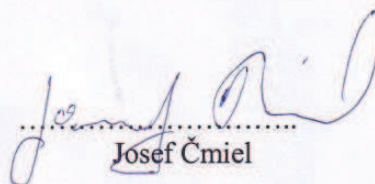
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne (datum odevzdání)

6.5.2015


Josef Čmiel

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu doc. Ing. Stanislavu Mišákovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Otakarovi Bednářovi za snahu o získání různých informací a dat k tvorbě bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá náhradou pohonu mlýnu uhlí v teplárně. Nejprve je popsán současný pohon, kde je rozebráno denní zatížení a spouštění pohonu. V další části jsou popsány druhy zatížení, metody spouštění a regulace otáček pro asynchronní motory. Následující část se zabývá návrhem základních parametrů pro modernizovaný pohon, kde jsou srovnány dva možné typy pohonů pro náhradu stávajícího pohonu.

Klíčová slova

Asynchronní motor, Náhrada pohonu, Zatížení motoru, Spouštění motoru, Regulace otáček motoru.

Abstract

This thesis is dealing with the replacing of coal mill drive in heating plant. The introduction describes current mill drive and there is described the starting of the gear and also described drive daily loads. The next chapter describes the types of loads, starting methods and speed regulation methods for asynchronous electric motors. The following chapter describes the design of the basic parameters for the upgraded drive and there are compared two possible types of drives for replacement of the existing drive.

Key Words

Induction motor, Drive replacement, Motor loads, Starting the motor, Motor speed regulation.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam použitých zkratek

Symbol	Název
a.s.	Akciová společnost
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
ČR	Česká republika
ČSN EN	Československá norma
tzn.	To znamená
tzv.	Takzvaně
FR1	Tepelné relé
KM1	Hlavní stykač
KM2	Stykač do trojúhelníků
KM3	Stykač do hvězdy
Q1	Softstartér
Q2	Frekvenční měnič

Seznam použitých symbolů

Symbol	Název	Jednotka
B	Třída izolace	(-)
f	Frekvence	(Hz)
I_{ln}	Záběrný proud při jmenovitém napětí	(A)
I_{ls}	Záběrný proud při sníženém napětí	(A)
M_n	Moment jmenovitý	()
M_{max}	Moment maximální	()
M_{ns}	Moment jmenovitý při spouštění	()
M_{zab}	Moment záběrný	()
n	Otáčky jmenovité	(min ⁻¹)
n_1	Otáčky synchronní	(min ⁻¹)
T	Doba cyklu	(min)
p	Počet pólových dvojic motoru	(-)
s	Skluz	(%)
z	Zatěžovatel	(%)
S1	Trvalé zatížení motoru	(-)
S10	Zatížení s nespojitými stálými zatíženími	(-)
S2	Krátkodobý chod motoru	(-)
S3	Přerušovaný chod motoru	(-)
S4	Přerušovaný chod motoru s rozběhem	(-)
S5	Přerušovaný chod motoru s elektrickým brzděním	(-)
S6	Přerušované zatížení motoru	(-)

S7	Přerušované pravidelné zatížení motoru s elektrickým brzděním	(-)
S8	Přerušované pravidelné zatížení motoru se změnami otáček spojenými se změnami zatížení	(-)
S9	Nepravidelné zatížení a změny otáček	(-)
U_{1n}	Napětí jmenovité	(V)
U_{1s}	Napětí snižené při spouštění	(V)
U_{ini}	Napětí inicializační	(V)

Obsah:

1	Úvod	- 1 -
2	Analýza současného technického stavu pohonů mlýnu	- 2 -
2.1	Popis stávajícího pohonu	- 2 -
2.2	Denní zatížení motoru	- 4 -
2.3	Spouštění pohonu	- 4 -
3	Analýza možností využití elektrických strojů pro dané pohony	- 6 -
3.1	Druhy zatížení	- 6 -
3.1.1	Trvalé zatížení – druh zatížení S1	- 7 -
3.1.2	Krátkodobý chod – druh zatížení S2	- 8 -
3.1.3	Přerušovaný chod – druh zatížení S3 (bez vlivu rozběhu a brždění na teplotu).....	- 9 -
3.1.4	Přerušované zatížení – druh zatížení S6	- 10 -
3.2	Metody spouštění.....	- 11 -
3.2.1	Spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko.....	- 11 -
3.2.2	Přímé připojení na napájecí síť.....	- 11 -
3.2.3	Spouštění se sníženým napětím.....	- 13 -
3.2.4	Spouštěním přepínačem hvězda trojúhelník.....	- 14 -
3.2.5	Spouštění softstartérem	- 16 -
3.2.6	Spouštění měničem frekvence.....	- 17 -
3.2.7	Spouštění asynchronních motorů se speciálním vinutím rotoru	- 18 -
3.2.7.1	Spouštění asynchronních motorů s vírovou klecí.....	- 19 -
3.2.7.2	Spouštění asynchronních motorů s dvojitou klecí	- 20 -
3.3	Srovnání různých kritérií spouštění	- 21 -
3.4	Regulace otáček asynchronního motoru.....	- 22 -
3.4.1	Regulace otáček změnou skluzu.....	- 23 -
3.4.2	Regulace otáček změnou počtu pólů	- 23 -
3.4.3	Regulace otáček změnou frekvence statorového napětí	- 23 -
4	Návrh základních parametrů modernizovaného pohonu	- 25 -
4.1	Multikriteriální analýza pohonů	- 25 -
5	Závěr.....	- 28 -

1 Úvod

V dnešní době je pro lidskou společnost dodávka elektrické energie takřka samozřejmým faktem. Elektrickou energii využíváme, přesněji přeměňujeme na teplo, světlo či mechanickou práci.

Mechanickou práci na hřídeli tvoří točivé elektrické stroje, tedy asynchronní, synchronní a stejnosměrné motory.

Asynchronní stroje se nejčastěji používají jako motory. Patří mezi nejrozšířenější elektromotory vůbec. Protože jsou ze všech elektromotorů nejjednodušší a nejlacinější, používají se k nejrozličnějším pohonům. Patří mezi stroje, které jsou provozně nejspolehlivější a vyžadují malou údržbu. Mají široké spektrum použití k pohonu zařízení, jako jsou kompresory, čerpadla, ventilátory, pásové dopravníky, výtahy, jeřáby, obráběcí stroje, atd. [3]

Synchronní stroje se rozdělují na synchronní motory, synchronní generátory a synchronní kompenzátory. Jejich nejčastější využití slouží jako měniče energie z mechanické na elektrickou a to jako trojfázové alternátory, které patří do skupiny největších točivých strojů. Pro tepelné elektrárny se používají dvoupólové nebo čtyřpólové turboalternátory, poháněné parními turbínami, které mívají malý průměr a značnou délku. Dalším typem synchronního stroje jsou hydroalternátory. Tyto stroje pracují ve vodních elektrárnách. Jsou to mnohopólové stroje velkého průměru, malé délky a nízkých otáček. [1]

Stejnoseměrné motory historicky patří mezi nejstarší motory. Díky svými specifickými vlastnostmi se používají dodnes zejména v mikro-elektronických pohonech, regulovaných pohonech, robotice nebo také jako stejnosměrný generátor. [4]

Teplárenské provozy, které v minulosti byly vybavené asynchronními motory vyrobené kolem roku 1960 jsou v současné době staré, opotřebené, vyhráté lépe řečeno technicky dožitě. Ze zmiňovaných důvodů se společnost rozhodla pro inovaci pohonu, aby se zvýšila spolehlivost provozu a nedošlo k poruše, která může mít za následek odstavení bloku.

Cílem této předkládané práce bylo navrhnout modernizovaný pohon, který by měl mít stejné parametry jak elektrické tak mechanické jako stávající pohon. Návrh modernizovaného pohonu mlýnu K6 a K7 jsem realizoval v teplárně Československá armáda v Karvině firmy Dalkia Česká republika, a.s. Dnes již Veolia Energie ČR a.s.

Veolia Energie Česká republika, a.s. je společnost se sídlem v České republice. Veolia Energie je jedním z největších nezávislých výrobců tepla a elektrické energie v kogeneraci a první nezávislý provozovatel sítě chladu na českém trhu. Veolia Energie patří do stejnojmenné francouzské národní skupiny, která se v Evropě i ve světě pohybuje na předních pozicích v oblasti energetiky. [10]

2 Analýza současného technického stavu pohonů mlýnu

Jak už bylo v úvodu uvedeno cílem této práce je modernizovat pohon. Pro modernizaci pohonu je nutné znát parametry současného motoru viz tab. 1.

tab. 1 Tabulka štítkových hodnot motoru

MEZ BRNO NÁRODNÍ PODNIK závod DRÁSOV-ČSSR							
ASYNCHRONNÍ MOTOR		3 ~			TYP	MH880-60	
KRYTÍ	IP 44		TVAR		HO		
VÝKON	250	kW	ČÍSLO		102744		
STATOR	6000	V	DOBA CHODU		∞		
FREKVENCE	50	Hz	PROUD		30,4	A	
OTÁČKY	990	min ⁻¹	TŘÍDA IZOLACE		B		
ROK VÝROBY	1968		HMOTNOST		3960	Kg	



obr. 1 Štítkové hodnoty motoru

2.1 Popis stávajícího pohonu

Stávající pohon mlýnu K6 a K7 je asynchronní třífázový motor MH 880. Přívod motoru je zajištěn vysokonapětovým kabelem z rozvodny 6 kV.

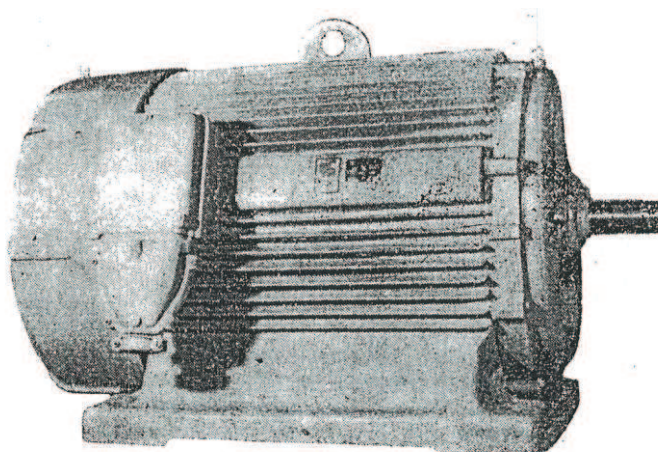
Motor je postaven na pevném betonovém základě, který je vyrovnaný vodováhou do jedné roviny. Rovný povrch je velmi důležitý, protože při nerovném povrchu a následně špatném usazení motoru dochází k deformacím hřídele a případně i k ukroucení.

Spojení motoru s mlýnem je provedeno mechanicky přes spojku a převodovku. Hřídele těchto strojů musí být přesně souosé a čelní roviny spojky kolmé. Při špatném sespojování dochází k vibracím a následném poškození z některé části mechanismu. Na obr. 2 je foto motoru, převodovky a mlýnu.



obr. 2 Foto pohonu převodovky a mlýnu

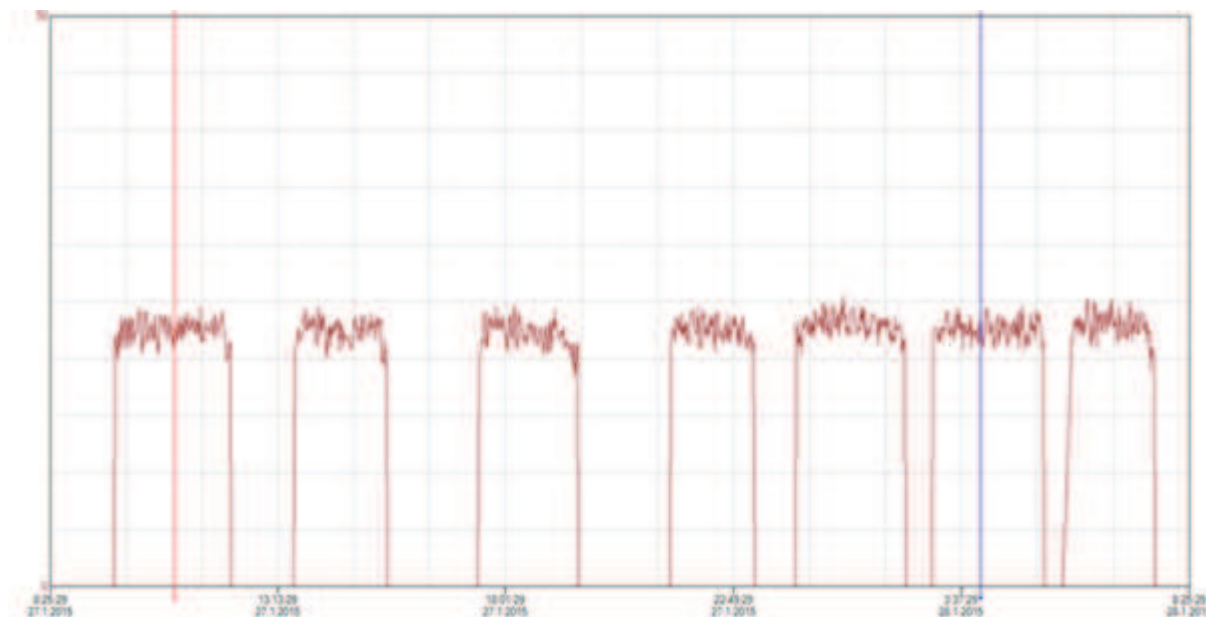
Chlazení motoru je zde provedeno přirozeným a vlastním chlazením. Motor má tedy dva okruhy chlazení a to vnitřní konvekcí a vnější s ventilátorem. Teplo odváděné z motoru konvekcí se přes litinové žebrování ochladí ventilátorem, který je umístěn na hřídeli motoru a účinnost chlazení je pak závislá na otáčkách motoru.



obr. 3 Foto motoru z původního katalogového listu [9]

2.2 Denní zatížení motoru

Na obr. 4 je znázorněný diagram denního zatížení motoru M7B. Zde je možno vidět, kolikrát byl motor za den zapnut, pauzy mezi jednotlivým provozním zatížením a proudový rozsah motoru. Proudový rozsah v tomto diagramu se pohyboval od 19 – 25A. Motor byl během dne sedmkrát zapnutý s nejdelší dobou provozu 2 hodiny a 54 minut a nejkratší doba provozu 1 hodina 44 minut.



obr. 4 Diagram denního zatížení motoru M7B

Podle diagramu denního zatížení motoru je patrné, že se jedná o zatížení typu S1 což je chod trvalého zatížení. U zatížení S1 se jedná o to, že se teplota musí ustálit. Jako ustálená hodnota se bere takový čas, kdy je motor v provozu a této teploty je dosaženo na dobu delší než trojnásobek oteplovací konstanty. A pak se zcela ochladí na teplotu okolí. Oteplovací konstanta bývá většinou v řádech minut, takže vzhledem k tomu, že se jedná o intervaly zapnutí a vypnutí v řádech hodin, je tento motor dimenzován na zatížení S1. [6]

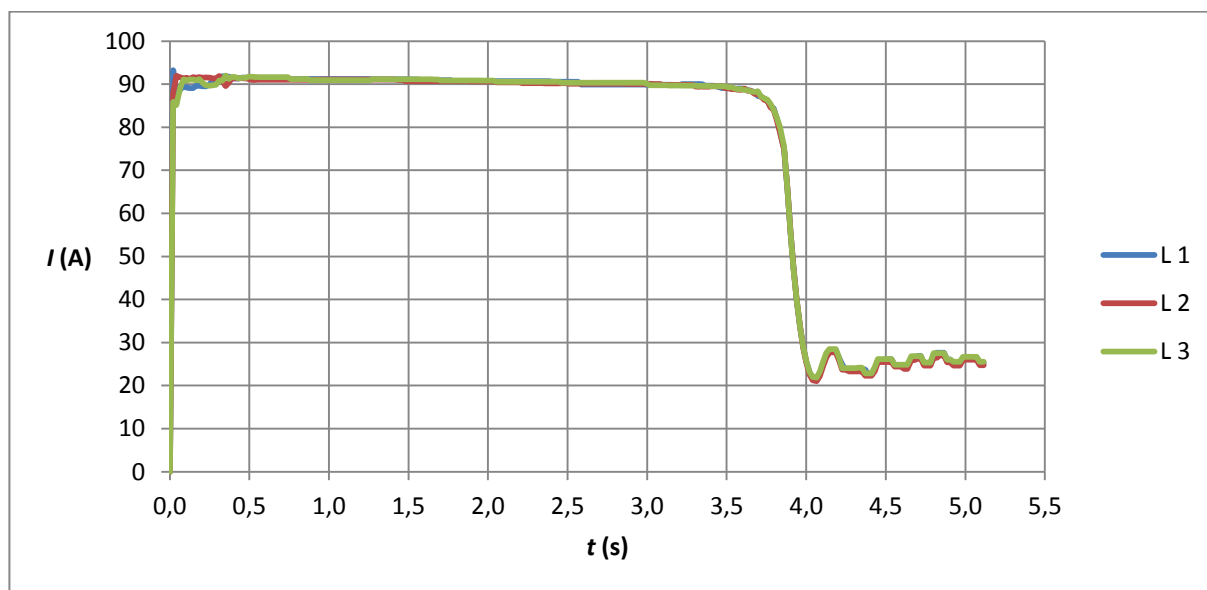
2.3 Spouštění pohonu

Pro motor se dovolují tři zapnutí v hodině (rovnoměrně rozdělené). Doba rozběhu motoru trvá asi 15 vteřin.

Pohon je spouštěn na základě požadavků z provozování kotle tzn. topič, potřebuje namlet palivo, protože mu klesla hladina prášku v zásobníku a je potřeba ho doplnit. Operátor, který vidí pomocí počítačové vizualizace pokles hladiny prášku v zásobníku spouští mlýn počítačem, který spouštěcím systémem připojí pohon přímo k síti (nemá spouštěč ani frekvenční měnič) a po uplynutí určité sekvence je mlýn v provozu.

Vyprázdněný mlýn (bez paliva), který obsahuje pouze ocelové koule, se tedy rozjíždí se zátěží, která je dána ocelovými koulemi. Teprve po uvedení mlýnu do provozu se začne do něj sypat přes pásový dopravník palivo. V případě nějakého výpadku, motor se zastaví a nedojde k úplnému vyprázdnění mlýnu, je motor následně spouštěn s výrazně vyšším zatížením než při spouštění mlýnu bez paliva. Takové spouštění není běžné, provádí se jen jako nouzové spouštění, které tento motor taky musí zvládnout.

Na obr. 5 jsou znázorněny průběhy proudu z měření při rozběhu. Počáteční rázový proud je takřka zanedbatelný, což je zřejmě způsobeno měřicím transformátorem proudu.



obr. 5 Rozběh motoru

3 Analýza možností využití elektrických strojů pro dané pohony

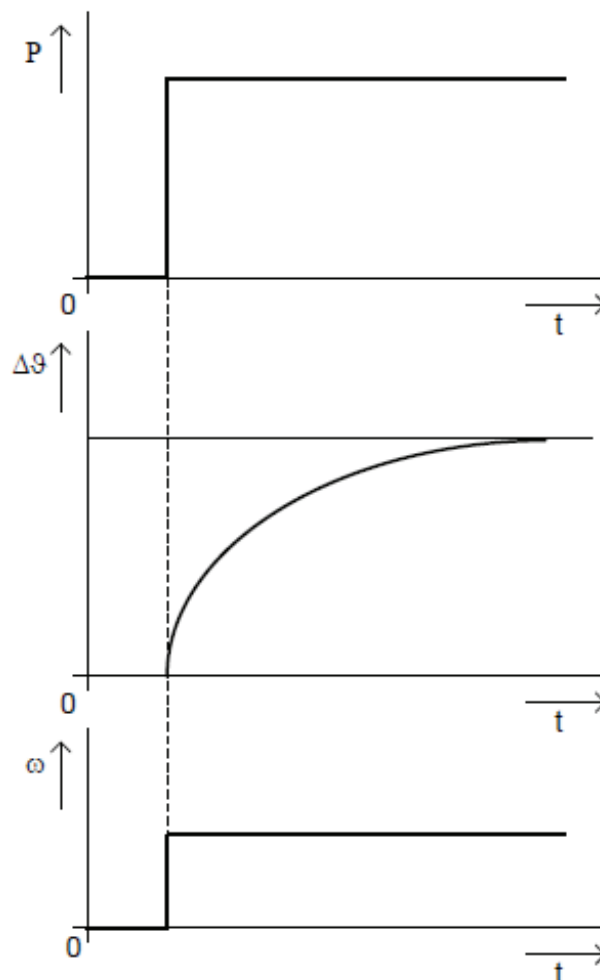
V tomto bodě jsou popsány druhy zatížení motoru, možnosti spouštění a regulaci otáček asynchronního motoru s kotvou nakrátko.

3.1 Druhy zatížení

Start pohonu se označuje jako jedna z možností provozního zatížení S1-S10. Je to označení, které je definováno v souladu s mezinárodní klasifikací dle normy ČSN EN 60034-1, ed.2. Požadovaný výkon se mění v různých stavech jako je brždění, rozběh nebo při reverzaci. Aby druh pohanění motoru byl správně navrhnut, je nutné znát analýzu jeho zatěžovacího diagramu. Druhy provozu elektrického motoru jsou takřka skoro neomezené. Trvalé, časově neměnné provozní zatížení elektrických pohonů se v praxi vyskytuje jen u některých zatížení. Proto bylo přistoupeno ke klasifikaci určitých druhů provozu z důvodu zlepšení komunikace mezi uživatelem a výrobcem. [5] [6]

3.1.1 Trvalé zatížení – druh zatížení S1

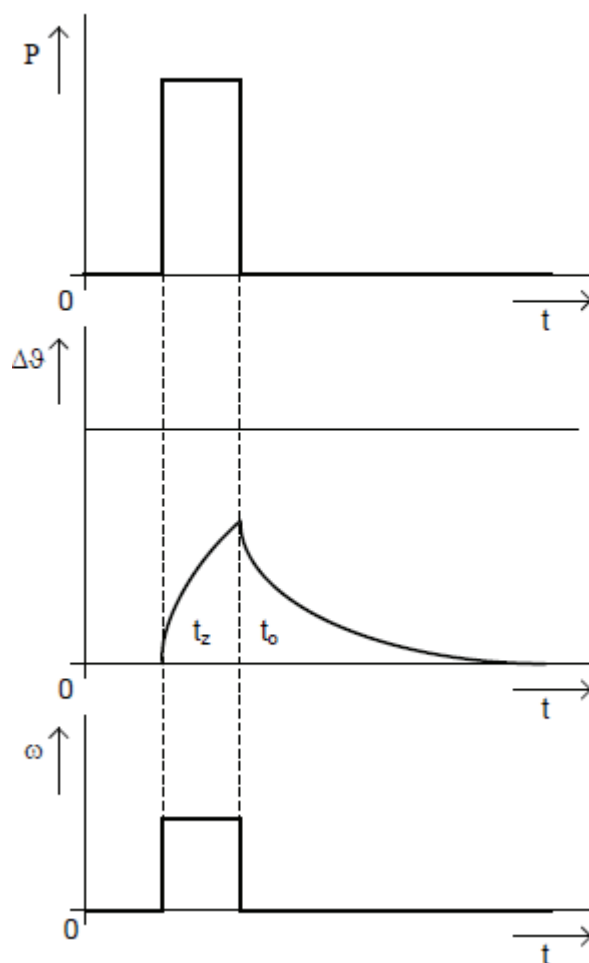
Trvalé nebo také kontinuální zatížení je provoz při konstantním a nepřetržitém provozu. Je to provoz, který je dostatečně dlouho zatížen pro dosažení ustálené teploty stroje, která se dále nemění. Charakteristika trvalého zatížení je znázorněna na obr. 6. [5]



obr. 6 Charakteristiky trvalého zatížení S1 [2]

3.1.2 Krátkodobý chod – druh zatížení S2

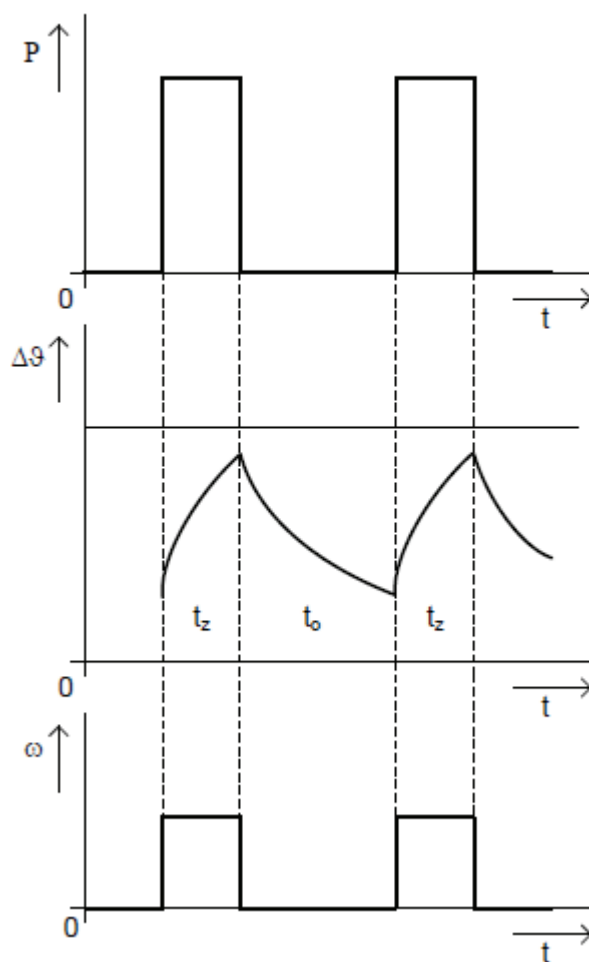
Doba provozu při konstantním zatížení je zde natolik krátká, že se nedosáhne ustálené teploty stroje. Doba pracovní přestávky a odpojení stroje od elektrické energie je natolik dlouhá aby došlo ke snížení teploty stroje na teplotu okolí tedy teploty chladiva. Při tomto druhu zatížení mohou vznikat ve stroji vyšší ztráty než při trvalém, konstantním zatížení. Zatížení S2 dovoluje přetěžování stroje, přičemž teplota stroje nesmí přesáhnout svoji dovolenou hodnotu. Pohony určené pro druh zatížení S2 mají omezenou dobu zatížení a proto se udává na štítku stroje. Charakteristika krátkodobého chodu je znázorněna na obr. 7. [5]



obr. 7 Charakteristika krátkodobého chodu S2 [2]

3.1.3 Přerušovaný chod – druh zatížení S3 (bez vlivu rozběhu a brždění na teplotu)

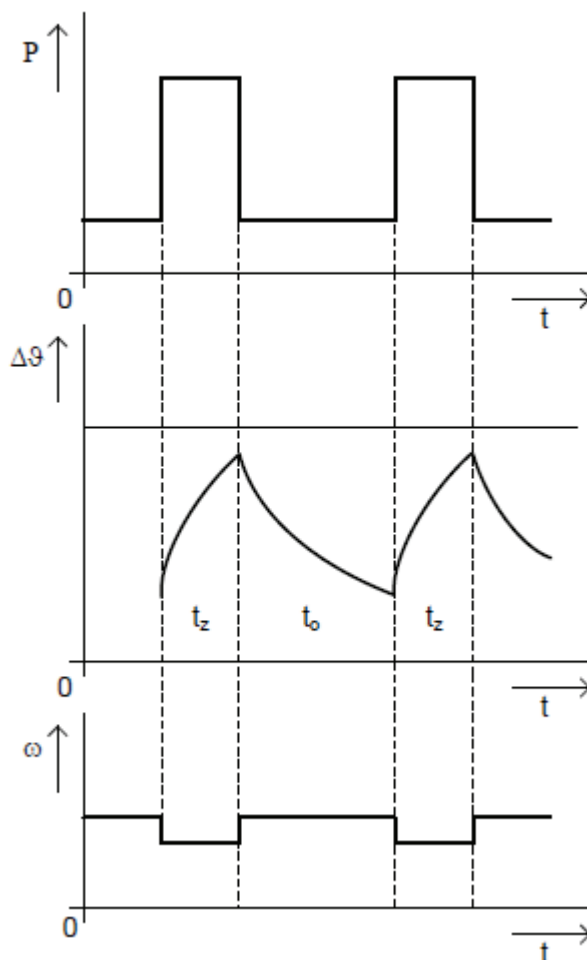
Sled stejných pracovních cyklů nebo-li zatížení se stejným opakujícím cyklem. Každý jeden cyklus obsahuje dobu provozu s konstantním zatížením, během toho zatížení stroj nedosáhne ustáleného oteplení a dobu pracovní přestávky a odpojení. Stroj se během pracovní přestávky nestihne ochladit na teplotu okolí. Teplota oteplení stroje pak kolísá mezi maximální a minimální hodnotou. Charakteristika přerušovaného chodu je znázorněna na obr. 8. [5]



obr. 8 Charakteristika přerušovaného chodu S3 [2]

3.1.4 Přerušované zatížení – druh zatížení S6

Zatížení se stejným opakujícím cyklem, který neobsahuje dobu pracovní přestávky a odpojení. Tento druh zatížení v každém cyklu obsahuje dobu provozu s konstantním zatížením a dobu naprázdno. Charakteristika přerušovaného zatížení je znázorněna na obr. 9. [5]



obr. 9 Charakteristika přerušovaného zatížení S6 [2]

Přerušovaný chod respektive zatížení je charakterizováno:

-dobou cyklu , kde při výpočtech uvažujeme s normovanou dobou cyklu $T = 10$ min.

-zatěžovatelem, který udává celkový součet dob zatížení v rámci jednoho cyklu k době cyklu.

$$\text{---} \quad (1)$$

Motory se zatížením jiným než S1 se vyrábějí pro normované zatěžovatele 15; 25; 40 a 60%

Další způsoby zatížení například s rozběhem, brzděním či reverzací.

Přerušovaný chod s rozběhem – druh zatížení S4

Přerušovaný chod s elektrickým brzděním – druh zatížení S5

Přerušované pravidelné zatížení s elektrickým brzděním – druh zatížení S7

Přerušované pravidelné zatížení se změnami otáček spojenými se změnami zatížení – druh zatížení S8

Nepřavidelné zatížení a změny otáček – druh zatížení S9

Zatížení s nespojitými stálými zatíženími – druh zatížení S10 [2]

3.2 Metody spouštění

V okamžiku připojení motoru k síti je motor ve zkratu nebo-li ve stavu nakrátko. V motoru vzniká přechodný děj, během kterého motor přechází z klidového stavu do stavu pracovního, tedy stavu kdy má motor pracovní otáčky.

Při spouštění asynchronního motoru vznikají rázy na napájecí díky záběrnému proudu. Aby se tyto rázy omezily, používají se různé metody spouštění, které mohou být buď mimo motor, nebo jeho součástí.

3.2.1 Spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko

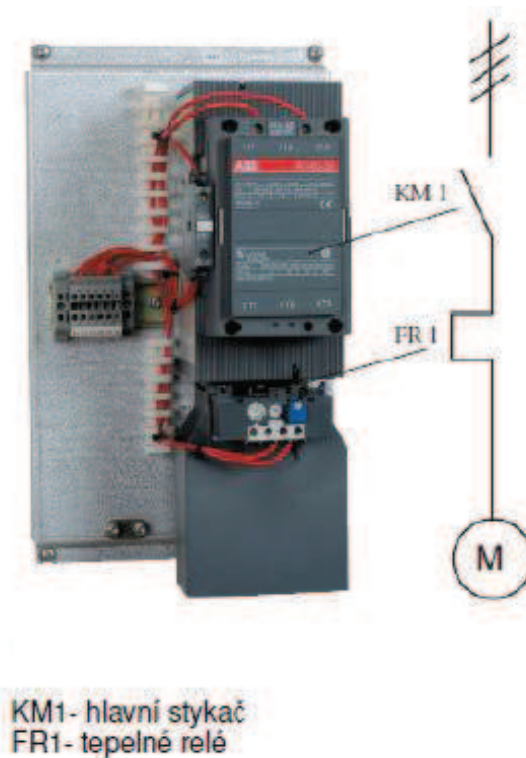
Při spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko vzniká velký proudový a momentový ráz. Z toho důvodů se musí učinit taková opatření, aby při spouštění těchto motorů se eliminovaly spouštěcí vlivy na vlastní motor, zařízení nim poháněné a napájecí síť. [1]

3.2.2 Přímé připojení na napájecí síť

Motory nevyžadující zvláštního spouštěcího zařízení jsou motory, které nemají při spouštění větší ráz než 22 kVA tedy motory se jmenovitým výkonem do 3 kW.

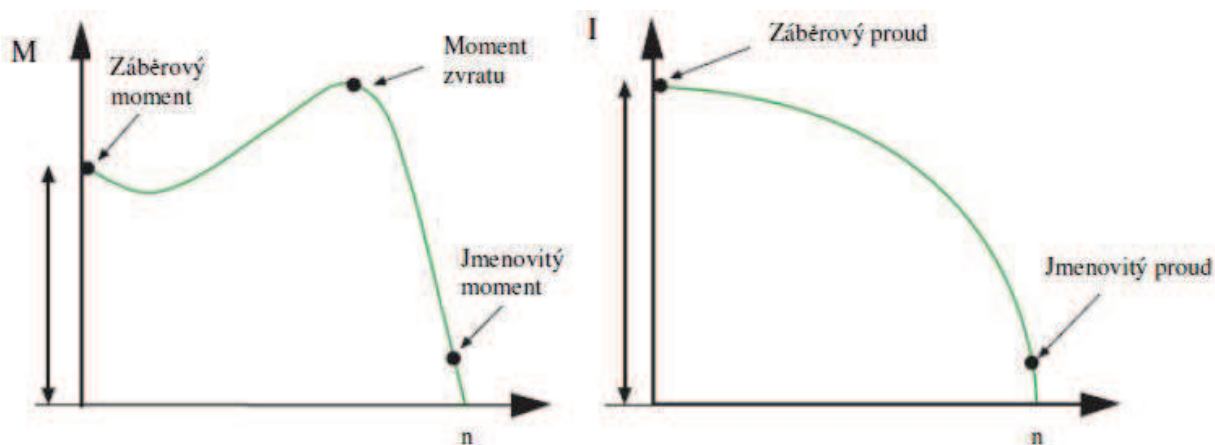
Přímým připojením na napájecí síť je možno spouštět motory o výkonu i do několika MW. A to v případě zvláště dobré přenosové schopnosti sítě kde úbytek napětí způsobený spouštěcím proudem nepřekročí 10 % přes den, 5 % ve špičkách a 15 % v noci. Nebo dodržení zvláštních opatření jako je například vyčlenění přívodu z elektrárny. To se používá zejména v průmyslových podnicích. [1]

Metoda spouštění motoru přímým připojením s použitím stykače a tepelného relé je znázorněna na obr. 10.



obr. 10 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko přímým připojením [8]

Výhodou spouštěním přímým připojením motoru na síť je, že na hřídeli motoru vzniká vysoký počáteční krouticí moment. Tento moment nazýván také jako záběrový moment je často větší než většina aplikaci potřebuje. Vysoký záběrový moment vyvolává zbytečně vysokou sílu ve vazbě motor-pracovní mechanismus a může tak docházet k opotřebování různých strojních částí. Průběh momentů a proudu je znázorněno na obr. 11. Tato metoda spouštění motoru je v některých případech jedinou možnou alternativou připojení motoru na síť[1].



obr. 11 Charakteristika momentu a proudu při spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko přímým připojením na síť

3.2.3 Spouštění se sníženým napětím

Tímto způsobem spouštění se snižuje záběrný moment motoru, protože záběrný moment je funkcí čtverce napětí. Tedy

$$\frac{M}{M_n} = \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (2)$$

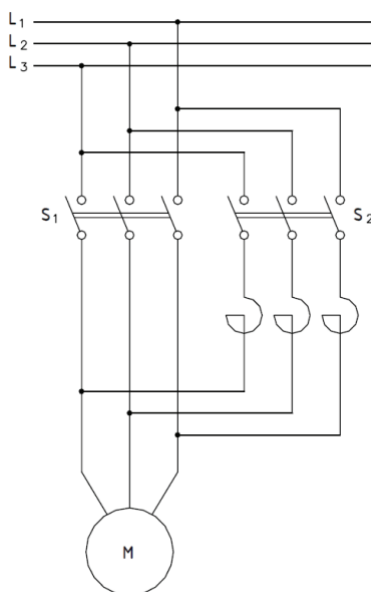
Snížené napětí motoru je možno docílit:

Předřazením rezistoru nebo tlumivky do statorového vinutí

Spouštěcím autotransfornátorem

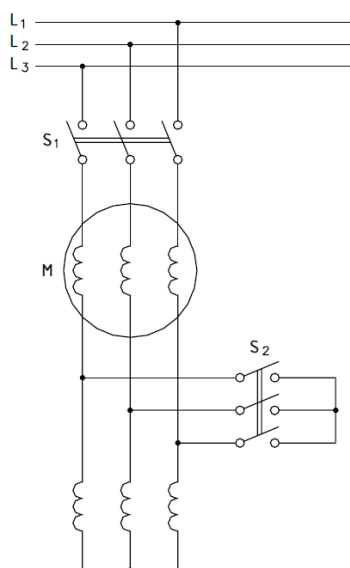
Připojením statorového vinutí nejdříve do hvězdy a pak do trojúhelníku

Schéma spouštění s předřazenou tlumivkou je znázorněno na obr. 12. Tlumivka je zapojena do série se statorem kde sníží napětí o 0,6 – 0,7 násobku jmenovitého napětí. Při spouštění se nejdřív zapne vypínač S_2 a poté S_1 . [1]



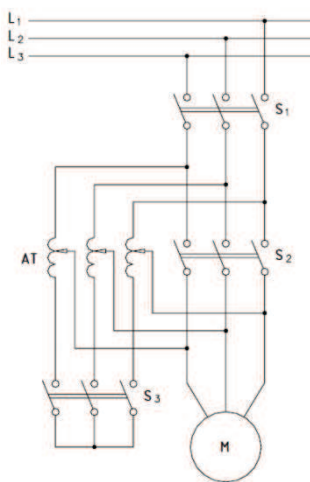
obr. 12 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí předřadné tlumivky [1]

U motoru s velkým výkonem (použití například u 6 kV sítě) se připojují do uzlu statorového vinutí tlumivky s železným jádrem. Sníží se tím napěťové namáhání tlumivky. Při rozběhu se napětí rozdělí v poměru reaktancí motoru a tlumivky. Spínač S_1 je spojen jako první a po rozběhu se statorové vinutí, které má na svorkovnici šest svorek, spojí spínačem S_2 . Schéma zapojení je znázorněno na obr. 13. [1]



obr. 13 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí předřadné tlumivky s železným jádrem [1]

Spouštění pomocí autotransformátoru, které je schématicky znázorněno na obr. 14, je při rozběhu sepnut spínač S_3 a autotransformátor může pracovat jako tlumivka. Poté se sepne spínač S_2 a rozběh motoru je dokončen. [1]

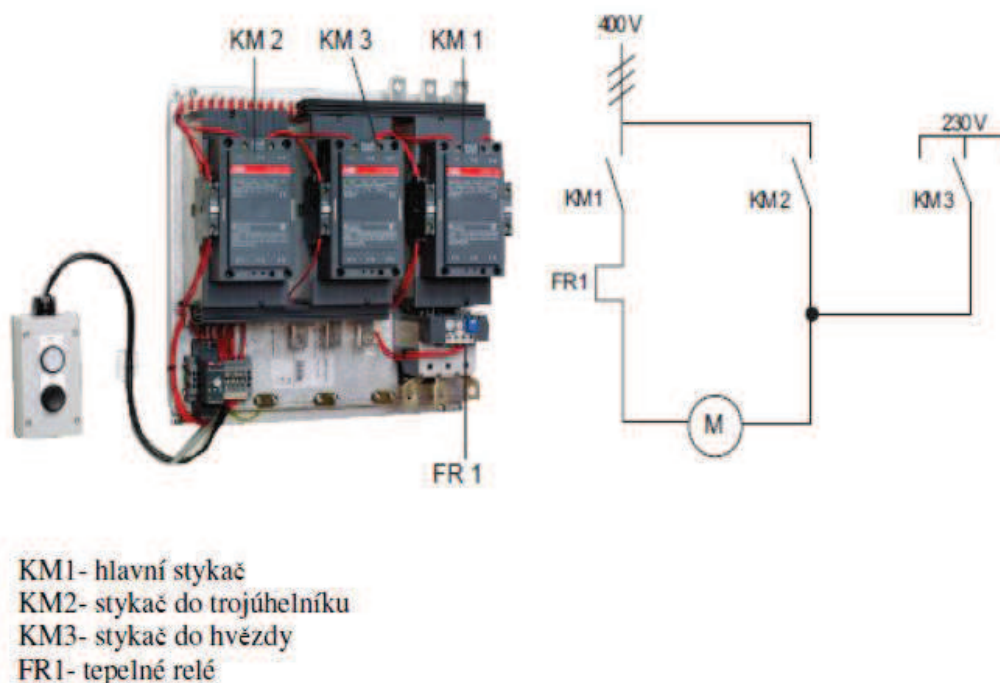


obr. 14 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí autotransformátoru [1]

3.2.4 Spouštěním přepínačem hvězda trojúhelník

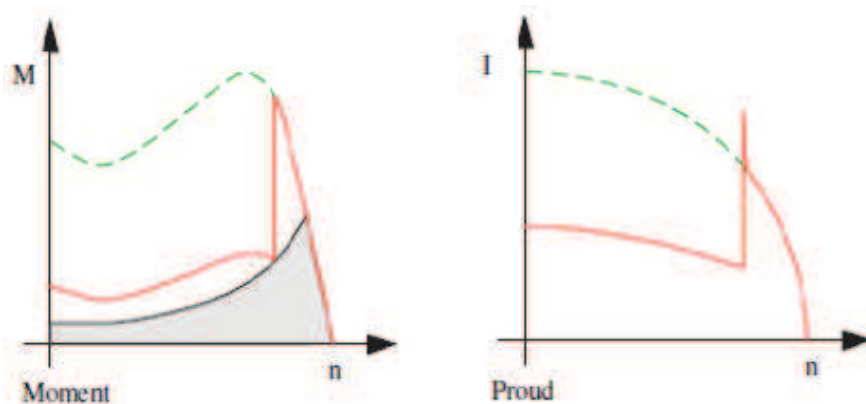
Spouštění přepínačem hvězda trojúhelník je velmi rozšířený způsob spouštění, který se používá u motorů menších a středních asi do výkonu 15 – 20 kW. Motory na svorkovnici musí mít vyvedeno šest konců vinutí a musí být zapojeny to trojúhelníka pro provozní jmenovité napětí, tedy například 400 V. Při

spouštění je vinutí statoru zapojeno do hvězdy, kde napětí je menší o $\sqrt{3}$ a po rozběhnutí motoru se přepne do trojúhelníka viz obr. 15. [1]



obr. 15 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí přepínání hvězda trojúhelník [8]

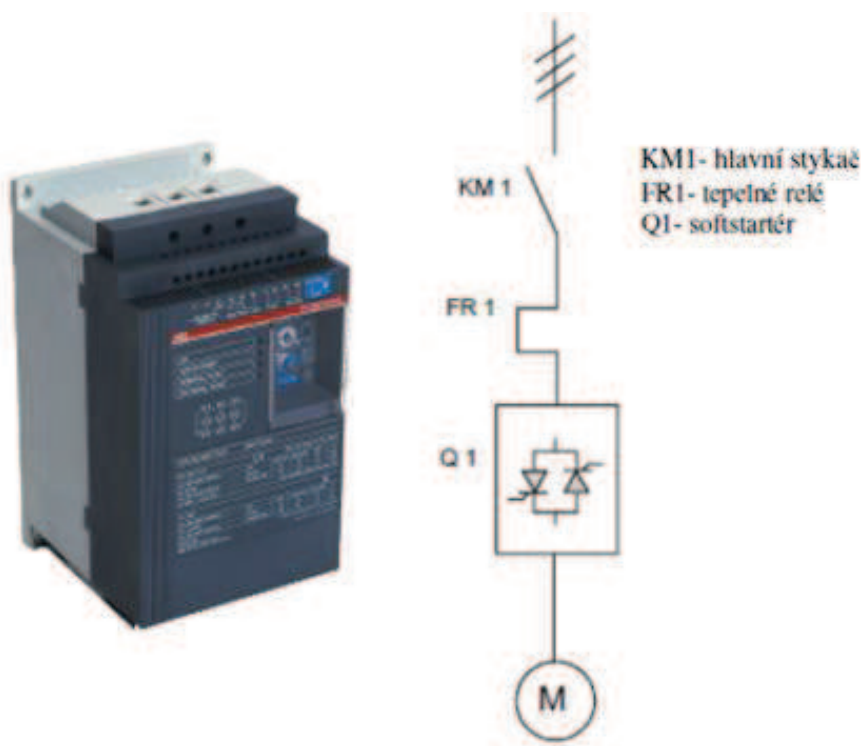
Tato metoda spouštění omezuje jak záběrový moment, tak i záběrový proud. Přepínání z hvězdy do trojúhelníka se provádí po dosažení 80-85% jmenovitých otáček motoru, protože při těchto otáčkách se moment zátěže rovná hnacímu momentu a motor neakceleruje. Přepínání trvá přibližně 0,5 sekundy, což může vyvolat vysoké proudové a momentové rázy, zvláště při nevhodném přepínání, které má za následek vysoké namáhání izolace motoru. Průběhy momentu a proudu jsou znázorněny na obr. 16. [8]



obr. 16 Charakteristika proudu a momentu při spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko přepínáním hvězda trojúhelník [8]

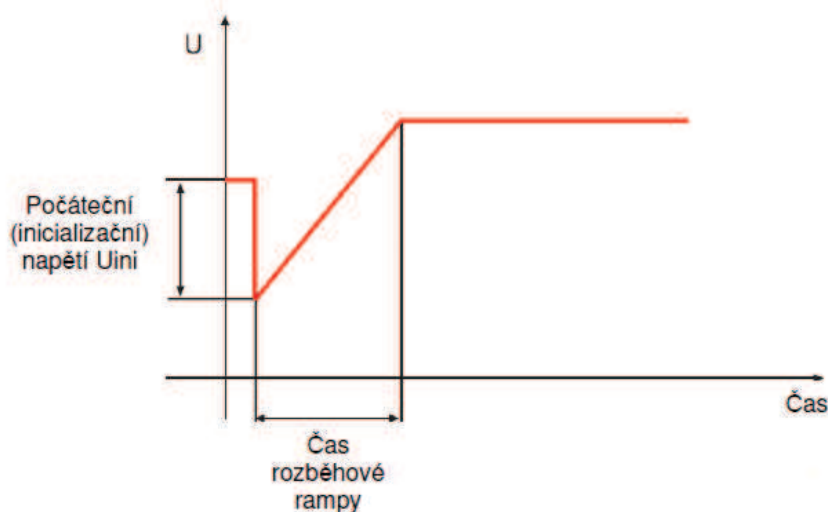
3.2.5 Spouštění softstartérem

Metoda spouštění motoru pomocí softstartéru je od předchozích spouštění odlišná. Softstartér obsahuje dva antiparalelně zapojené tyristory, které jsou ovládaný řídicí deskou, což umožňuje plynulý rozběh motoru. Je vybaven rozběhovou a doběhovou rampou. Při startu softstartér postupně zvyšuje napětí po zvolené napět'ové rozběhové rampě a při vypnutí snižuje napětí po doběhové rampě. Je možno realizovat brždění pomocí stejnosměrného proudu. Na obr. 17 je znázorněno zapojení spouštění motoru pomocí softstartéru. [8] [7]



obr. 17 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí softstartéru [8]

Spouštěním softstartérem vzniká problém při zatíženém motoru. Softstartér po rozběhové rampě zvedá napětí od nuly tedy i moment je nulový. V takovém případě by se motor mohl zatížit až po rozběhnutí, aby se byl schopen rozběhnout. Řešením tohoto nedostatku je nastavení inicializačního napětí nebo také (kickstart), kde softstartér nejprve na svorky motoru přivede dostatečné velké inicializační napětí U_{ini} , sloužící pro vytvoření dostatečného záběrného momentu M_{zab} , což zapříčiní „utrhnutí“ rotoru z klidu a roztočí se. Dále softstartér napětí opět omezí a spouští se po rozběhové rampě. Princip kickstartu je znázorněn na obr. 18. [7]

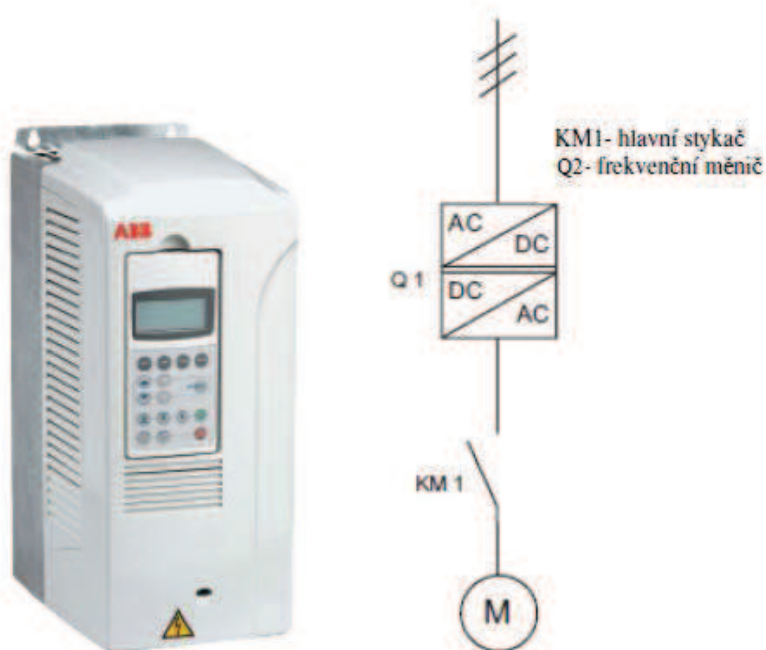


obr. 18 Charakteristika napětí při spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí softstartéru s využitím kickstartu [7]

Obecně lze říct, že softstartér lze použít tam, kde je velký záběrový moment, který způsobuje rázy, nebo jiné mechanické trhání a podobně, nebo také tam, kde je velký záběrový proud, který potřebujeme omezit. Softstartéry se používají u čerpadlových a ventilátorových aplikací a v neposlední řadě u dopravních pásů, kde je potřeba přepravu materiálů zajistit tak, aby nedošlo k jejímu poškození díky rychlému zastavení, k tomu se využívá doběhová rampa. Další výhodou softstartéru je možnost využití pro rozběh více asynchronních motorů.

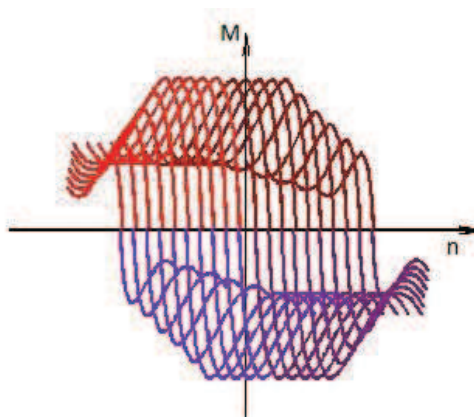
3.2.6 Spouštění měničem frekvence

Toto spouštění je vhodné pro chod asynchronního motoru kdy není potřeba plného rozběhnutí motoru, ale je potřeba regulovat otáčky. Frekvenční měnič se skládá ze dvou částí. V první části upravuje frekvenci sítě střídavé složky (50-60 Hz) na frekvenci stejnosměrné složky. Druhá část upravuje ze stejnosměrné složky zpět na střídavou, ale s frekvencí proměnlivou a to mezi 0-250 Hz. Protože otáčky motoru jsou závislé na frekvenci je možno regulovat otáčky motoru frekvenčním měničem a to změnou výstupní frekvence. Frekvenční měnič se využívá v provozech, kde je potřeba regulace otáček za trvalého provozu. [7] [8]



obr. 19 Schéma zapojení spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí softstartéru [8]

Na momentové charakteristice znázorněné na obr. 20 můžeme vidět rozběh postupným zvyšováním výstupní frekvence, kde je patrné, že už při nízkých otáčkách má motor dostatečný záběrný moment.



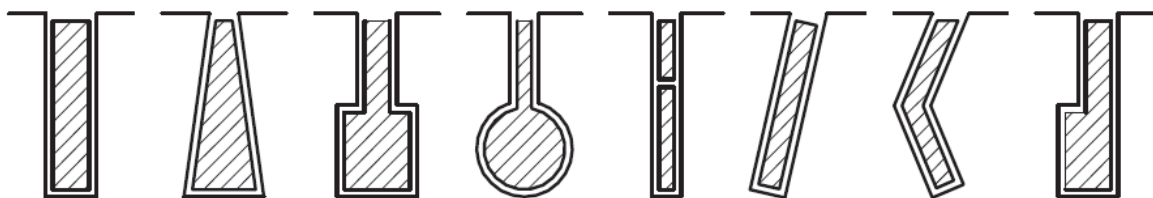
obr. 20 Charakteristika momentu při spouštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko pomocí, měniče frekvence [7]

3.2.7 Spouštění asynchronních motorů se speciálním vinutím rotoru

Existuje několik konstrukcí speciálních rotorových vinutí, které dokážou měnit nejen odpor, ale i reaktanci rotorového vinutí během rozběhu a vedou tak ke zlepšení rozběhových vlastností motoru. [1]

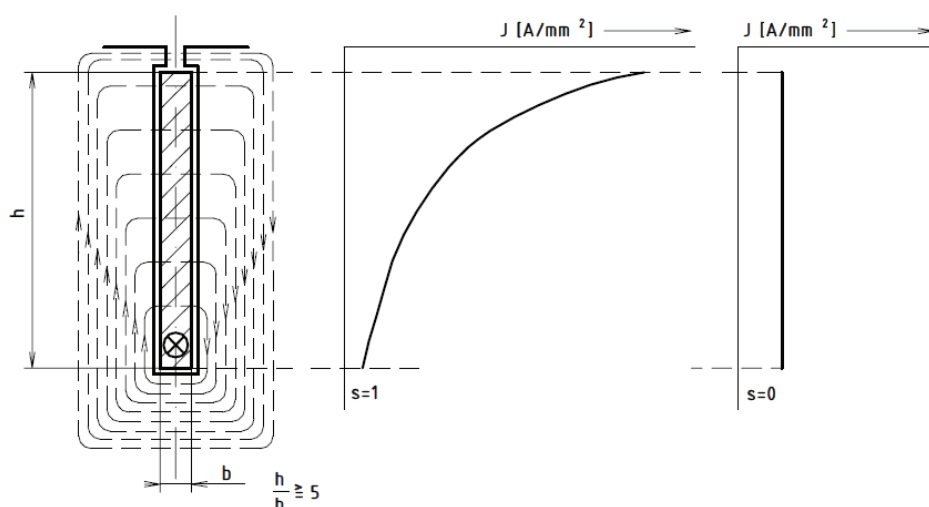
3.2.7.1 Spouštění asynchronních motorů s vírovou klecí

Vírová klec má úzké a hluboké drážky. Má různé tvary rotorových tyčí jako například lichoběžníkový, obdélníkový nebo jiný složitější tvar jak je znázorněno na obr. 21. [1]



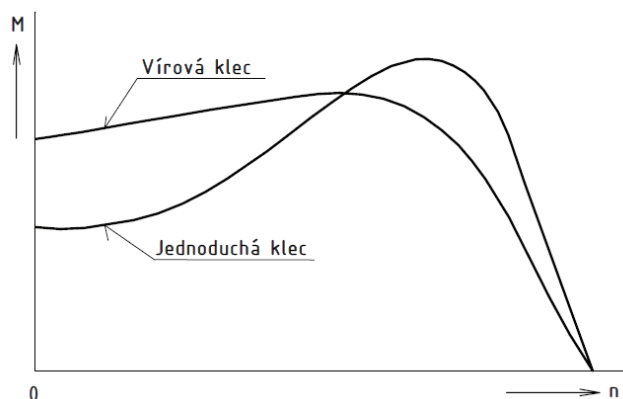
obr. 21 Možné provedení rotorových tyčí vírové klece u asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

V první fázi kdy rotorová a statorová frekvence se rovná vznikají v tyčích značné vířivé proudy, vyvolané rozptylovým polem, procházejícím drážkami rotoru. Spodní část tyče je spojena s největším rozptylovým tokem a velkým indukovaným napětím, působící proti průchodu proudu v tyči. Horní část je spojena s nejmenším rozptylovým tokem a s malým indukovaným napětím. Proud není rozložen rovnoměrně po průřezu tyče a je vytlačen do horní vrstvy tyče a tím se zvětší odpor tyče. Rozložení rozptylových toků a proudu vírové klece je znázorněno na obr. 22. [1]



obr. 22 Rozložení rozptylových toků a proudu v tyčích vírové klece asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

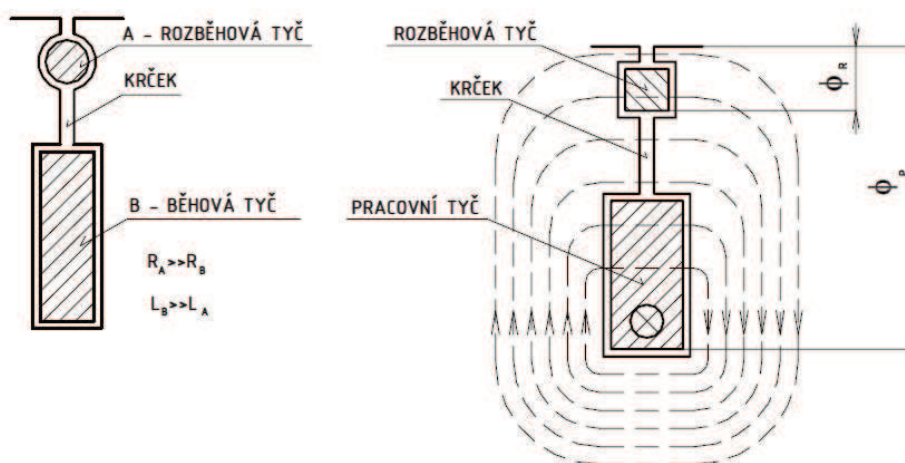
Během rozběhu se postupně zmenšuje kmitočet v rotoru a tím se zmenšuje i nerovnoměrnost rozložení proudu v tyčích. V bodě jmenovitého skluzu je proud po průřezu rozložen prakticky rovnoměrně v důsledku malého rotorového kmitočtu. Na obr. 23 je pro srovnání znázorněná momentová charakteristika virové klece a jednoduché. Z obrázku je vidět, že vzroste záběrový moment a omezí se záběrový proud. [1]



obr. 23 Srovnání momentové charakteristiky jednoduché a vírové klece asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

3.2.7.2 Spouštění asynchronních motorů s dvojitou klecí

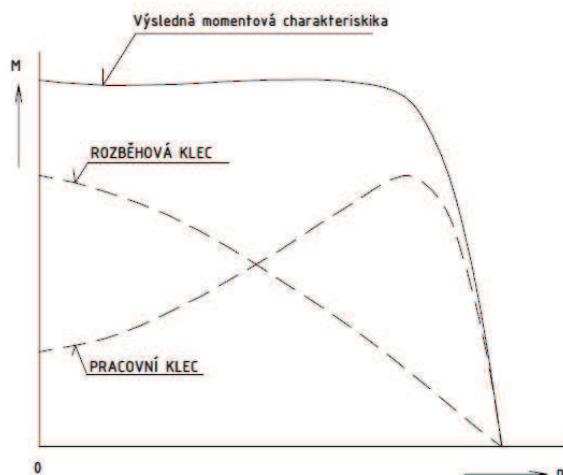
U dvojitě klece má rotor dvě samostatné klece, kde jedna z nich je blízko vzduchové mezery a slouží jako rozběhová klec má velký činný odpor a může být například z mosazi. Druhá dolní klec uložená hluboko v železe je běhová klec a má malý činný odpor, ale velkou reaktanci, protože se může kolem ní uzavřít velký rozptylový tok. Drážka dvojitě klece a rozložení rozptylových toků je na obr. 24. [1]



obr. 24 Rozložení rozptylových toků v tyčích dvojitě klece asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

Při rozběhu kdy je rotorová a statorová frekvence stejná, proud protéká převážně rozběhovou klecí, která má velký činný odpor a reaktanci. Moment motoru je pak velký při poměrně malém proudu a s rostoucími otáčkami klesá vliv reaktance až do plné rychlosti, kde je zanedbatelný. Po rozběhu proud protéká převážně běhovou klecí a motor pracuje s malým rotorovým odporem a dobrou účinností.

Momentová charakteristika dvojité klece jejíž momenty jednotlivých klecí se sčítají je znázorněná na obr. 25. [1]



obr. 25 Momentová charakteristika dvojité klece asynchronního motoru s kotvou nakrátko [1]

3.3 Srovnání různých kritérií spouštění

tab. 2 Tabulka srovnání metod spouštění

Metoda spouštění	Výhody	Nevýhody
Přímé připojení na síť	Vysoký počáteční krouticí moment Nízká pořizovací cena Jednoduchost	Opotřebení ložisek Vysoký záběrový proud ($6-7I_n$) Velký úbytek napětí Opotřebení převodovky Tlakové rázy
Kombinace hvězda/trojúhelník	Využití pro lehké starty (motor je částečně zatížen) Nízká pořizovací cena Jednoduchost Možnost kombinace ručního a automatického spínače Moment klesá ve stejném poměru jako proud Pokles záběrného proudu na 1/3	Nízké opotřebení ložisek Tlakové rázy Vysoké proudové momentové špičky při přepínání Nelze nastavit velikost záběrového proudu (momentu) Lze použít pouze u motorů se štiťkovým napětím 690/400 V, 660/380 V
Frekvenční měnič	Nedochází k opotřebení ložisek Malý záběrový proud Nedochází k opotřebení převodovky Nevznikají tlakové rázy Nevznikají proudové špičky	Velká pořizovací cena Zdroj harmonických vyšších řádů

Metoda spouštění	Výhody	Nevýhody
	Plynulá bezetrátová regulace Využití k řízenému startu a zastavení Velký moment při nízkých otáčkách Možnost nastavení dlouhého rozběhu	
Softstartér	Nedochází k opotřebení ložisek Malý záběrový proud Nedochází k opotřebení převodovky Nevznikají tlakové rázy Nevznikají proudové špičky Časté spouštění Možnost spouštění více motoru Možnost nastavení dlouhého rozběhu	Velká pořizovací cena Malý počáteční záběrný moment
Dvojitá klec	Velký záběrný moment Malý záběrný proud	Konstrukční řešení, uživatelem neovlivnitelné
Virová klec	Velký záběrný moment Použití u motorů s velkým průměrem	Zhoršený účinek vlivem rozptylové reaktance rotoru Konstrukční řešení, uživatelem neovlivnitelné

V tab. 2 jsou srovnány výhody a nevýhody různých možných metod spouštění pro daný pohon. Na základě uvedených výhod a nevýhod je nejlepší pro tento provoz metoda přímého spouštění s pohonem, který bude mít dvojitou nebo virovou klec. Metoda přímého spouštění je nejjednodušší a co se týče ceny, tak je nejlevnější na rozdíl od softstartéru nebo frekvenčního měniče, kde cena se pohybuje ve statisících. Díky dvojité nebo virové klece, pohon bude lépe zvládat rozběh díky velkému záběrnému momentu a to buď se zátěží prázdného mlýnu, nebo se zátěží nevyprázdněného mlýnu, ke které může dojít v případě nějakého výpadku.

3.4 Regulace otáček asynchronního motoru

Pro definování možností regulace otáček asynchronního motoru vyjdeme z rovnice pro otáčky asynchronního motoru.

$$\text{---} \quad (3)$$

Z této rovnice můžeme určit možnosti regulace otáček motoru a to:

- Změnou skluzu
- Změnou počtu pólů
- Změnou statorového kmitočtu

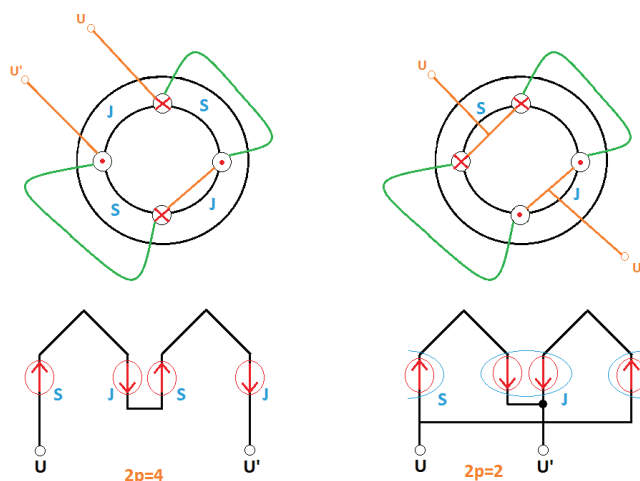
3.4.1 Regulace otáček změnou skluzu

Regulaci otáček změnou skluzu je možno provádět dvěma možnými způsoby:

- Regulace otáček změnou odporu v rotorovém obvodu
- Regulace otáček přivedením protinapětí do rotorového obvodu

Tato regulace je možná pouze u motorů s kotvou kroužkovou. Princip regulace neuvádím, protože v této bakalářské práci řeším asynchronní motor s kotvou nakrátko.

3.4.2 Regulace otáček změnou počtu pólů

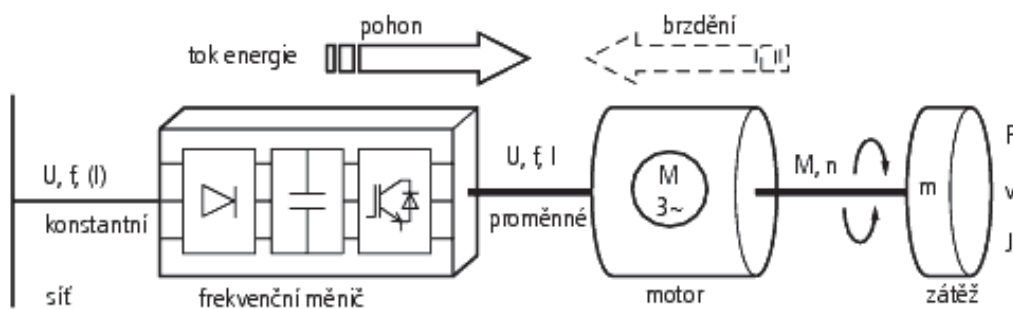


obr. 26 Princip přepínání rychlosti motoru v Dahlanderově zapojení [7]

Regulaci otáček změnou počtu pólů se provádí pouze stupňovitě. Počet stupňů je malý, nejčastěji se používají dva stupně. Stator může mít jedno přepínatelné vinutí několik nebo několik samostatných vinutí s různým počtem pólů, případně kombinace těchto způsobů. Při přepínání počtu pólů musí mít motor stejný smysl otáčení a pro každé otáčky musí být stanovený jmenovitý moment motoru. Přepínání motoru s jedním vinutím v poměru 1:2 se nejčastěji využívá tzv. Dahlanderova zapojení, které je znázorněno na obr. 26. V jedné fázi (v tomto případě U a U') statorového vinutí jsou dvě cívky, kde každá z nich má severní a jižní pól. Cívky zapojeny do série vytvářejí čtyřpólové magnetické pole, kdežto v paralelním zapojení se magnetické pole zruší a mezi cívkami vznikne dvoupólové pole. [7] [1]

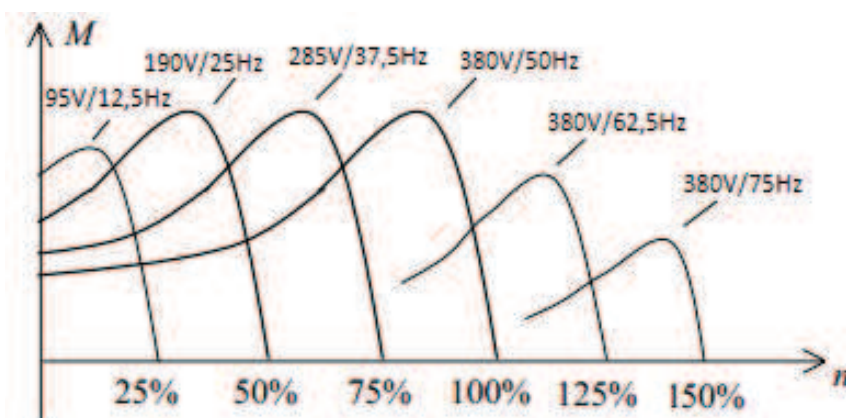
3.4.3 Regulace otáček změnou frekvence statorového napětí

Metoda regulace otáček změnou frekvence je hospodárná a plynulá regulace v dosti širokém rozsahu. V současné době je to nejpoužívanější způsob regulace otáček asynchronního motoru jak s kotvou kroužkovou tak s kotvou nakrátko. Ke změně frekvence se používají tzv. nepřímé měniče frekvence, které jsou složeny ze tří částí: usměrňovač, stejnosměrný meziobvod a střídač. Schéma takové regulace je na obr. 27. [7]



obr. 27 Schéma regulace otáček frekvenčním měničem [7]

Do frekvenčního měniče vstupuje konstantní napětí napájecí sítě, které mění na stejnosměrné napětí. Ze stejnosměrného napětí vytváří novou trojfázovou síť pro trojfázový motor s proměnlivým napětím a frekvencí. Frekvenční měnič odebírá z napájecí sítě pouze činný výkon a výkon potřebný pro provoz motoru tedy jalový výkon dodává meziobvod stejnosměrného napětí. Na obr. 28 je znázorněná momentová charakteristika motoru při kmitočtové regulaci otáček motoru. [7]



obr. 28 Momentové charakteristiky motoru pro různé úrovně frekvence [7]

4 Návrh základních parametrů modernizovaného pohonu

Na základě parametrů současného pohonu byly navrženy dva pohony, jejichž parametry jsou uvedeny v tab. 3 a tab. 4. Tyto pohony jsou od dvou různých dodavatelů a to od firmy SIEMENS s.r.o. a firmy ABB s.r.o. Co se týče parametrů, jsou oba uvedené pohony téměř identické. Nepatrně se liší pouze ve jmenovitých otáčkách, kde je rozdíl , jmenovitých momentech, u nichž je rozdíl a jmenovitých proudech, jejichž rozdíl je . V nabídce pohonu od dodavatele firmy SIEMENS s.r.o. není uveden typ pohonu a druh zatížení. Druh zatížení je poměrně důležitý parametr, ze kterého je možno určit zda je tento pohon vhodný pro daný provoz.

tab. 3 Tabulka štítkových hodnot nového pohonu SIEMENS

SIEMENS s.r.o.							
ASYNCHRONNÍ MOTOR		3 ~			TYP	-	
KRYTÍ	IP 55		cosφ		0,79		
VÝKON	250	kW	Mn		2414	()	
STATOR	6000	V	ZATÍŽENÍ		-		
FREKVENCE	50	Hz	PROUD		32	A	
OTÁČKY	989	min ⁻¹	TŘÍDA IZOLACE		F		
			CENA		1 483 080	Kč	

tab. 4 Tabulka štítkových hodnot nového pohonu ABB

ABB s.r.o.							
ASYNCHRONNÍ MOTOR		3 ~			TYP	M3BM 355LKA 6	
KRYTÍ	IP 55		cosφ		0,82		
VÝKON	250	kW	Mn		2406	()	
STATOR	6000	V	ZATÍŽENÍ		S1		
FREKVENCE	50	Hz	PROUD		31	A	
OTÁČKY	992	min ⁻¹	TŘÍDA IZOLACE		F		
			CENA		1 186 464	Kč	

4.1 Multikriteriální analýza pohonů

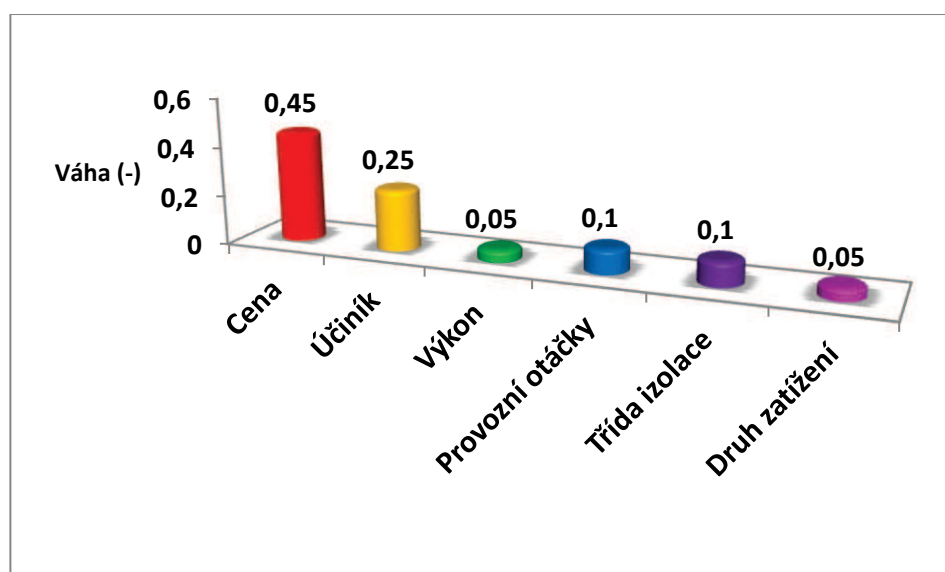
Pro porovnání parametrů pohonu pomocí multikriteriální analýzy je potřeba určit tzv. váhové kritéria. U kritérií je potřeba určit výstižného názvu daného parametru pro přehlednost v tabulce nebo grafu. Každému kritériu se přidělí tzv. váha ve formě desetinného čísla, tak aby jejich součet byl roven jedné. Tabulka pro porovnání s bodováním a výsledky je uvedena v **tab. 5**. Bodování bylo provedeno, tak jak ve škole to znamená, že jedna je nejlepší a pět je nejhorší.

tab. 5 Tabulka porovnaných pohonu podle různých kritérií

	váhy	ABB		SIEMENS	
		Bodování	Výsledek	Bodování	Výsledek
Cena	0,45	1	0,45	3	1,35
Účíník	0,25	2	0,5	3	0,75
Výkon	0,05	1	0,05	1	0,05
Provozní otáčky	0,1	2	0,2	3	0,3
Třída izolace	0,1	2	0,2	2	0,2
Druh zatížení	0,05	1	0,05	5	0,25
Celkem	1		1,45		2,9

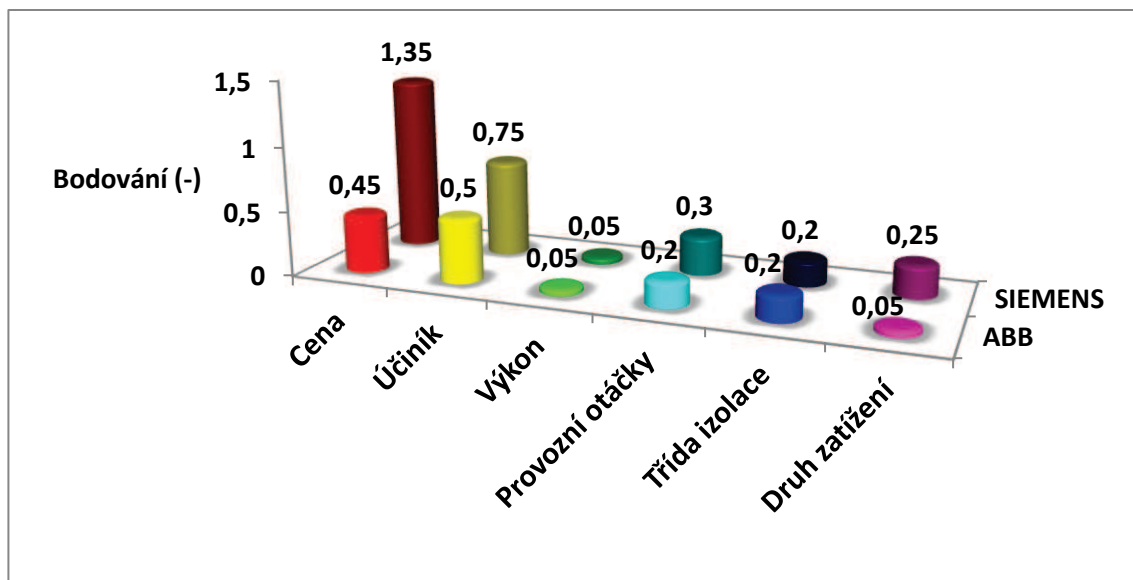
Na obr. 29 jsou graficky znázorněné váhy různých kritérií pro lepší srovnání. Největší váhu má cena, protože ta bude nejvíc ovlivňovat výběr pohonu. Druhou nejvyšší váhu má účíník, protože s rostoucím účíníkem roste činný výkon, což je výkon na hřídeli po odečtení činného proudu tedy ztrát v mědi, tzn. užitečná práce nebo-li kinetická energie rotujícího rotoru, což je požadovaný stav, aby rotor měl co největší kinetickou energii, kterou pak může použít pro daný pohon. Na dalším místě jsou provozní otáčky a třída izolace. Čím vyšší jsou provozní otáčky, tím nižší je skluz, který je ovlivňován velikostí vzdušné mezery mezi rotorem a statorem. Třída izolace udává horní hranici teploty, kterou musí motor vydržet. Jako nejnížší hodnotu váhy získal výkon a druh zatížení. U obou parametrů bylo tak voleno z důvodu požadovaných parametru.

Váhy byly stanoveny na základě rozhodnutí jednoho člověka, což znamená, že kvalita určení hodnoty vah pro jednotlivá kritéria nemusí být přesná.



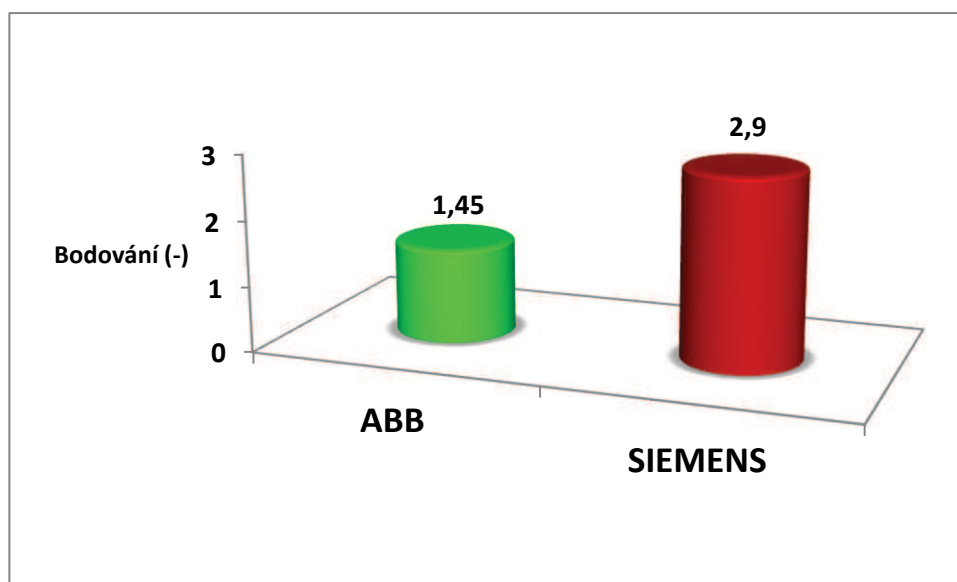
obr. 29 Grafické zobrazení váhových kritérií

Grafické porovnání jednotlivých kritérií pohonu je znázorněno na obr. 30, kde je možno vidět rozdíl všech kritérií podle zvolených vah. Podle znázorněných různých kritérií v grafu je vidět, že pohon od dodavatele ABB s.r.o. je lepší a to ve všech uvedených kritériích.



obr. 30 Grafické porovnání jednotlivých kritérií pohonů

V obr. 31 je znázorněno konečné porovnání obou pohonů, kde pohon ABB je o 1,45 bodů lepší než pohon SIEMENS. Výsledný pohon, který by mohl nahradit je od společnosti ABB s.r.o.



obr. 31 Grafické porovnání pohonů

5 Závěr

Cílem této předkládané práce bylo připravit návrh náhrady asynchronního trojfázového pohonu mlýnů K6 a K7 na Teplárně ČSA společnosti Veolia Energie Česká republika, a.s. Zpracovávání této práce bylo poměrně těžké z důvodu nedostatku informací o stávajícím pohonu. Snažil jsem se spolu s konzultantem ze společnosti Veolia Energie Česká republika, a.s. panem Bednářem získat co nejvíc informací, ale naše snaha byla bez úspěchu. Kontaktovali jsme SIEMENS s.r.o. a ABB s.r.o. s prosbou o poskytnutí podrobné dokumentace současného motoru, kde se nám dostalo odpovědi, že tak stará dokumentace není nebo byla skartována.

V teoretické části jsou popsány základní čtyři druhy zatížení a další vyjmenovány. Dále jsou popsány možnosti spouštění pohonu spolu s vírovou a dvojitou klecí. Tyto možnosti spouštění jsou vypsány v tabulce, kde jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody a na základě těchto informací je uvedena nejlepší metoda spouštění pro daný provoz. Následně je uvedena možná regulace otáček pohonu. Ta zahrnuje pouze princip regulace pro asynchronní motor s kotvou nakrátko. Další možná regulace otáček a to regulace pomocí změnou skluzu je pouze uvedena, protože je možno ji provádět pouze u motoru s kotvou kroužkovou.

V samotném návrhu modernizovaného pohonu jsou uvedeny dva pohony od různých dodavatelů, které jsou charakteristické svými parametry. Aby bylo možné stanovit pohon, který je vhodnější pro daný druh provozu, byla provedena multikriteriální analýza parametrů těchto dvou nabízených pohonů. Konečný výsledek je patrný z grafického porovnání na obr. 30 a obr. 31, kde pohon s lepšími parametry je od dodavatele ABB s.r.o.

Seznam použité literatury:

- [1] K. Chmelík: *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*, ISBN: 80-7078-857-7, VŠB-TUO, Ostrava 2001.
- [2] I. Neborák, V. Sládeček: *Elektrické pohony*, ISBN: 978-80-248-1493-3, VŠB-TUO, Ostrava 2007.
- [3] S. Kocman: *Asynchronní stroje*, VŠB-TUO, Ostrava 2002
- [4] EL-MOTT-SS [Online]
Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/ELTECH/EL-MOTT-SS.DOC>.
- [5] V. Stýskala: *Lekce z elektrotechniky*, [Online]
Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/Druhy_zatizeni.pdf
- [6] V. Vrána: *Elektrické stroje*, VŠB-TUO, Ostrava 2006, [Online] Dostupné z:
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/04_el_stroje.pdf
- [7] S. Rusnok, P. Svoboda: *Cvičení z elektrických strojů*, ISBN 978-80-248-3288-3, VŠB-TUO, Ostrava 2013.
- [8] J. Vašínska: *Softstartéry, Průvodce problematikou softstartérů*, ABB Automation Products, Cewe-Control, Brno 2009 Dostupné z:
[http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/\\$file/Softstarter-%20handbook.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/$file/Softstarter-%20handbook.pdf)
- [9] MEZ BRNO n.p. – závod DRÁSOV, Trojfázové asynchronní motory, Katalogový list motoru
- [10] Veolia Energie ČR a.s. [online]
Dostupné z: <http://www.veoliaenergie.cz>